

**ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СКОРОСТНОГО СТРОЕНИЯ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО
УЧАСТКА ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА ПО ДАННЫМ
СЕЙСМОЛОГИИ И ГСЗ (В СТВОРЕ ОПОРНОГО ПРОФИЛЯ 1-СБ)**

***В.М. Соловьев¹, А.С. Сальников², В.С. Селезнев³, В.В. Чечельницкий⁴, А.В. Лисейкин³,
Н.А. Галева¹***

¹Алтае-Саянский филиал ФГБУН ФИЦ ЕГС РАН, пр-т акад. Коптюга 3, г. Новосибирск, 630090;
e-mail: solov@gs.nsc.ru, tatapelya@gmail.com

²АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья»,
Красный пр-т 67, г. Новосибирск, 630091; e-mail: seispr@sniiggims.ru

³Сейсмологический филиал ФГБУН ФИЦ ЕГС РАН, пр-т акад. Коптюга 3, г. Новосибирск, 630090;
e-mail: svs0428@mail.ru, lexik1979@mail.ru

⁴Байкальский филиал ФГБУН ФИЦ ЕГС РАН, ул. Лермонтова 128, г. Иркутск, 664033; e-mail: chchel@crust.irk.ru

Поступила в редакцию 25 июля 2019 г.

Представлены материалы глубинных сейсмических исследований на опорном геофизическом профиле 1-СБ и площадной интерпретации сейсмологических данных в Забайкальской части Центрально-Азиатского складчатого пояса. Показано, что с помощью взрывов и мощных вибрационных источников на 1200-километровом геофизическом профиле 1-СБ в Забайкалье зарегистрированы продольные и поперечные волны от опорных границ в земной коре и поверхности Мохоровичича. Установлено неоднородное скоростное строение (по данным Р- и S- волн) верхней части земной коры до глубин 15–20 км и поверхности Мохоровичича. С использованием данных ГСЗ и сейсмологии в пределах Байкальской рифтовой зоны надежно прослежена аномальная мантия с пониженными значениями граничной скорости Р- и S-волн, соответственно, 7.8–7.95 км/с и 4.3–4.5 км/с. В юго-восточной части площади (в центральной части Монголо-Охотского орогенного пояса и сопредельных складчатых структур Забайкалья) выделен слой повышенных значений скорости Р- и S-волн на поверхности мантии, соответственно, 8.4 ± 0.15 км/с и 4.9 ± 0.05 км/с. Проведено сопоставление с материалами других исследований.

Ключевые слова: профиль ГСЗ, скорости Р- и S-волн и отношения скоростей, глубинный сейсмический разрез, земная кора, граница Мохоровичича, сейсмологические данные, Центрально-Азиатский складчатый пояс, Забайкалье.

ВВЕДЕНИЕ

Площадь исследований в Забайкалье находится в пределах крупных тектонических структур Центрально-Азиатского складчатого пояса, таких как Байкальская рифтовая зона, Монголо-Охотский пояс, Восточно-Забайкальская и Саяно-Байкальская складчатые области [4] (рис. 1). Наиболее изученными сейсмическими методами являются западная и северо-западная части территории в пределах Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) [5–7], слабо изученной до настоящего времени оставалась восточная часть Забайкалья [6, 7].

В 2014–2015 гг. на этой территории по заказу Федерального агентства по недропользованию выполнены комплексные геолого-геофизические исследова-

ния на опорном геолого-геофизическом профиле 1-СБ Восточный (рис. 1), включающие методы ОГТ, КМПВ, ГСЗ, МТЗ, направленные на изучение крупных металлогенических провинций Восточного Забайкалья, оценку общего ресурсного потенциала и системное обновление фундаментальной геолого-геофизической информации о строении и динамике недр [16].

В настоящей статье представлены результаты глубинных сейсмических исследований на опорном геолого-геофизическом профиле 1-СБ (Восточный участок), протяженностью свыше 1200 км. По данным разнополяризованных Р- и S-волн в створе опорного профиля освещены особенности глубинного строения крупных тектонических структур Централь-

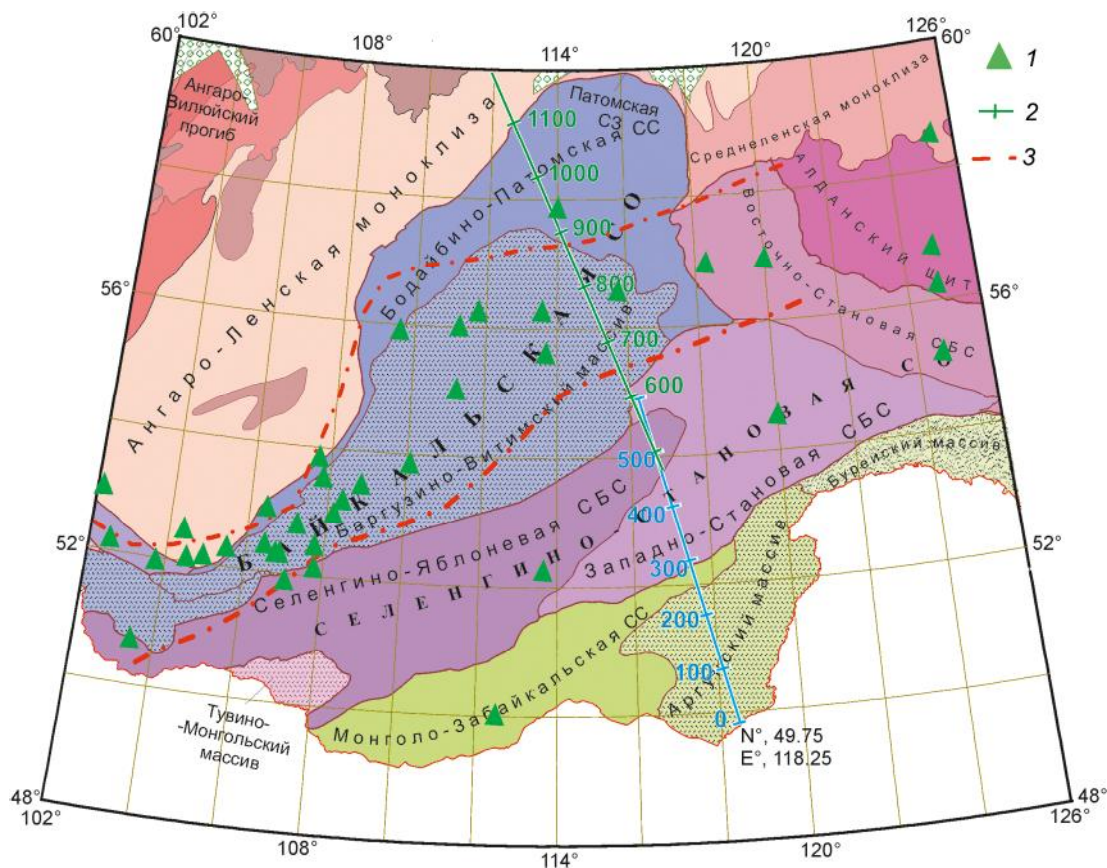


Рис. 1. Схема тектонического районирования в Прибайкалье и Забайкалье, по [4].

1 – сейсмостанции, 2 – профиль 1-СБ, 3 – контуры Байкальской рифтовой зоны (БРЗ), по [13]. (ПР1: $X = 0-630$ км, ПР2: $X = 475-1195$ км).

но-Азиатского складчатого пояса. С использованием опорных данных ГСЗ и сейсмологических данных от достаточно сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 4.5$ получены новые сведения о скоростном строении верхней мантии Прибайкалья и Забайкалья.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Работы ГСЗ на двух фрагментах опорного профиля 1-СБ Восточный (южном – Забайкальском и северном – Байкало-Патомском) выполнялись по методике точечных дифференциальных сейсмических зондирований [5–7]. Были реализованы достаточно плотные системы наблюдений с расстояниями в среднем 15–30 км между источниками возбуждения (взрывы в озерах массой заряда 3–6 т, мощные вибраторы) и в 4–5 км между регистрирующими станциями (РОСА, Байкал) группами вертикально-ориентированных приборов СВ-5 и Sersel SG-5 и 20 км с трехкомпонентными приборами GS-20DX, GS-One. В целом на профиле 1-СБ Восточный отработано 37 взрывных и 15 вибрационных источников. Дальность регистрации на ряде участков опорного профиля до-

стигла 400–500 км. Высокая плотность наблюдений, хорошее качество экспериментальных данных на вертикальных и трехкомпонентных приборах позволили детально изучить волновое поле как продольных, так и поперечных волн.

P-ВОЛНЫ

Анализ волнового поля показывает (рис. 2, а), что на записях в первых вступлениях уверенно выделяются продольные волны от границ в верхней, средней (и эпизодически нижней) части земной коры (P_{ref}) и поверхности Мохоровичича (P_{np}^M). В последующих вступлениях поля продольных волн на удалениях 80–200 км выделяются интенсивные 3–4-х фазные отражения от границы Мохоровичича ($P_{отр}^M$) [10, 11].

В пределах профиля 1-СБ Восточный скорость P-волн в первых вступлениях на удалениях 0–10÷15 км в целом изменяется от 3.5–4.5 км/с до 5.5–5.8 км/с. На базах свыше 10–15 км и до больших удалений в 150–170 км скорость продольных волн по основной массе географов возрастает незначительно, примерно до 6.0–6.2 км/с и редко (на отдельных

годографах на удалениях свыше 120–150 км) до 6.3–6.5 км/с.

Значения кажущейся скорости P_{np}^M -волн, прослеживающихся в первых вступлениях на удалениях свыше 170–180 км в пределах профиля 1-СБ Восточный, изменяются от 7.7 до 8.7 км/с. Более высокие значения скорости установлены практически на южном фрагменте профиля 1-СБ Восточный и на нескольких участках в северной части профиля. Практически со всех пунктов взрыва продольные волны от поверхности Мохоровичича выразительны на сейсмограммах, состоят из двух-трех фаз с видимыми частотами 8–11 Гц (рис. 2, а). Нагоняющие годографы параллельны и увязываются во взаимных точках по системам встречных и нагоняющих годографов.

Отраженные продольные волны от поверхности Мохоровичича наиболее выразительны в области начальной точки на удалениях 90–120 км, состоят из трех-четырех фаз с видимыми частотами 8–11 Гц (рис. 2, а). В целом на профиле отмечается нерегулярный характер записи отраженной волны от границы М, выражающийся в отсутствии ярко выраженных записей $P_{отр}^M$ -волн для ряда участков профиля.

S-ВОЛНЫ

За полем продольных волн менее уверенно на вертикально-ориентированных приборах (рис. 2, б) и уверенно на 3-х компонентных приборах выделяется поле поперечных аналогов. Наиболее представительный материал получен по данным преломленных (рефрагированных) поперечных волн от границ в земной коре ($S_{реф}$) и отраженным S-волнам от поверхности Мохоровичича ($S_{отр}^M$). Поперечные волны лучше выражены при возбуждении и регистрации в высокогорных участках профиля и слабо выделяются на участках с мощной толщей низкоскоростных осадочных отложений. По сравнению с продольными волнами S-волны имеют повышенные в 1.5–2 раза времена регистрации, пониженные видимые частоты и кажущуюся скорость на сейсмограммах. По интенсивности они в значительной части записей соизмеримы с соответствующими им аналогами поля продольных волн.

По ряду хороших записей с высоким отношением сигнал/шум была проведена корреляция и построены редуцированные годографы поперечных преломленных (рефрагированных) волн и поперечных отраженных волн от поверхности Мохоровичича.

Как и для продольных волн, в целом, по годографам преломленных (рефрагированных) поперечных волн отмечено увеличение кажущейся скорости от 2.1–3.3 км/с на удалениях 0–10÷20 км до 3.6–3.8 км/с на удалениях 140–180 км, соответствующее значениям скорости S-волн в самой верхней и средней частях

земной коры. На удалениях свыше 180–200 км на ряде записей выделяются поперечные волны с высокими значениями кажущейся скорости 4.5–5.1 км/с, соответствующие поперечным преломленным волнам от границы Мохоровичича. Наиболее высокие значения кажущейся скорости S_{np}^M -волн, как и по продольным волнам, установлены на всем южном фрагменте профиля 1-СБ Восточный и на нескольких участках в северной части профиля.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Интерпретация данных Р- и S-волн на профиле 1-СБ Восточный

Интерпретация данных Р- и S-волн на профиле 1-СБ Восточный проводилась традиционными в ГСЗ способами [5–7]. Были построены годографы рефрагированных Р- и S- волн, преломленных и отраженных Р- и S- волн от границы Мохоровичича, увязанные во взаимных точках. По данным рефрагированных Р- и S-волн в рамках линеаризованной постановки обратной кинематической задачи [6] рассчитаны томографические разрезы земной коры до глубин 15–25 км [10, 11]. По данным преломленных и отраженных продольных и поперечных волн от границы М стандартными способами кинематической интерпретации [6] определялась средняя (эффективная) скорость Р- и S-волн в земной коре (рис. 3), положение поверхности Мохоровичича и распределение вдоль нее значений скорости продольных и поперечных волн (рис. 3).

При определении граничной скорости S-волн, в связи с небольшой областью уверенного прослеживания преломленных поперечных волн от границы М, использовались начальные точки по данным отраженных S-волн на удалениях 80–110 км; это привело к большому осреднению и, как следствие, к более сглаженному результату определения граничной скорости S-волн по сравнению с данными по продольным преломленным волнам от границы М.

По результатам интерпретации опорных продольных и поперечных волн были построены глубинные сейсмические разрезы на профиле 1-СБ Восточный (рис. 4). Реализован комбинированный способ восстановления результирующих разрезов, описанный в [10, 11], включающий томографические построения верхней части разреза по данным коровых преломленных (рефрагированных) Р- и S-волн, восстановления границы М по данным преломленных и отраженных Р-и S-волн, восстановления скоростей в нижней части коры по данным закритических отраженных Р- и S-волн от границы М на удалениях в 200–300 км, восстановления скоростей Р-и S-волн в средней части разреза путем просчета прямых кинематических задач в рамках многослойной модели сре-

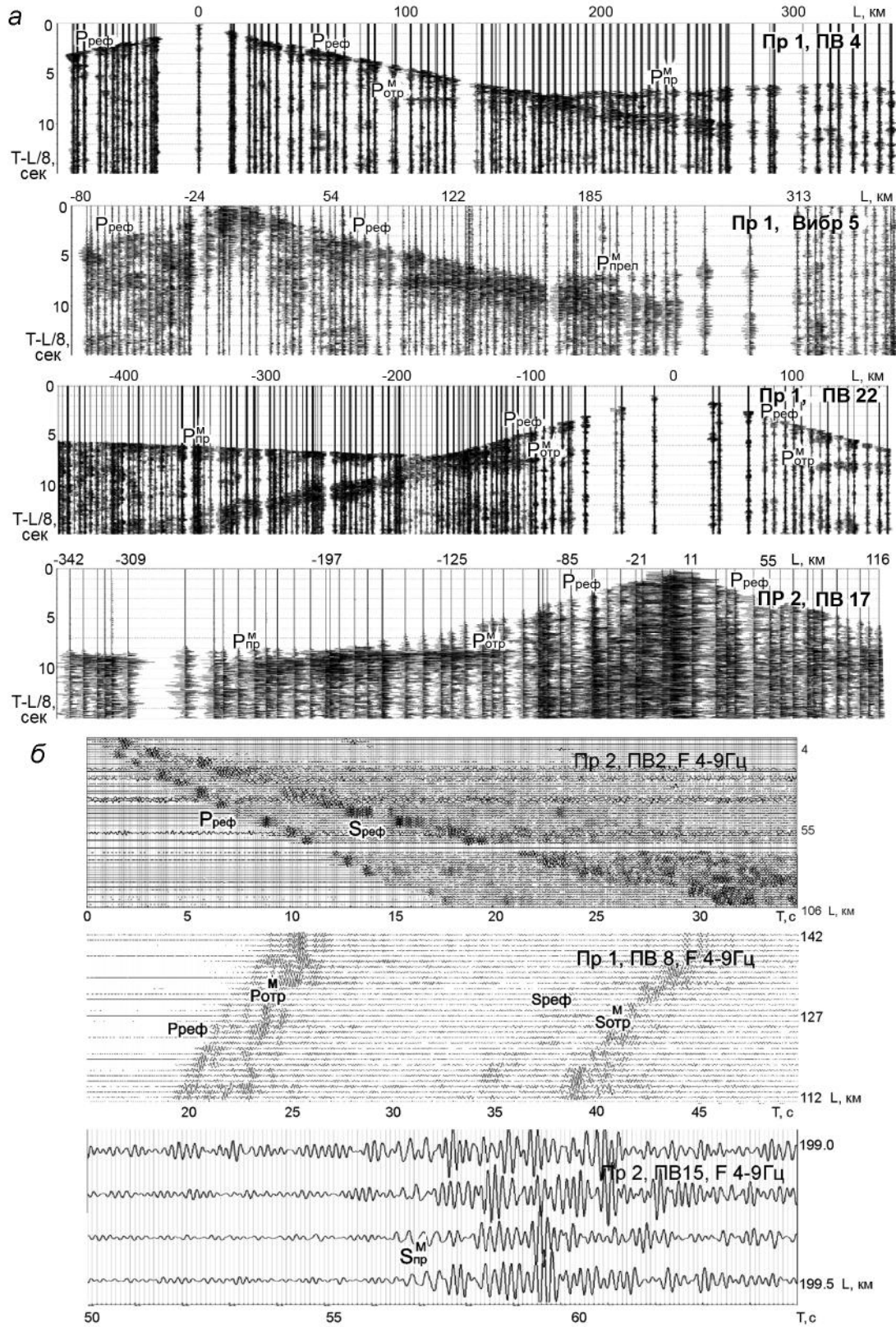


Рис. 2. Пример волнового поля в области продольных (а) и поперечных (б) волн на профиле 1-СБ Восточный. (Пр1 и Пр2 на рисунке – соответственно южный (Забайкальский) и северный (Байкало-Патомский) фрагменты профиля 1-СБ). Километраж источников возбуждения на профиле 1: ПВ4 – 63 км, ПВ5 – 81 км, ПВ8 – 143 км, ПВ22 – 476 км, на профиле 2: ПВ2 – 544 км, ПВ15 – 1008 км, ПВ17 – 1078 км.

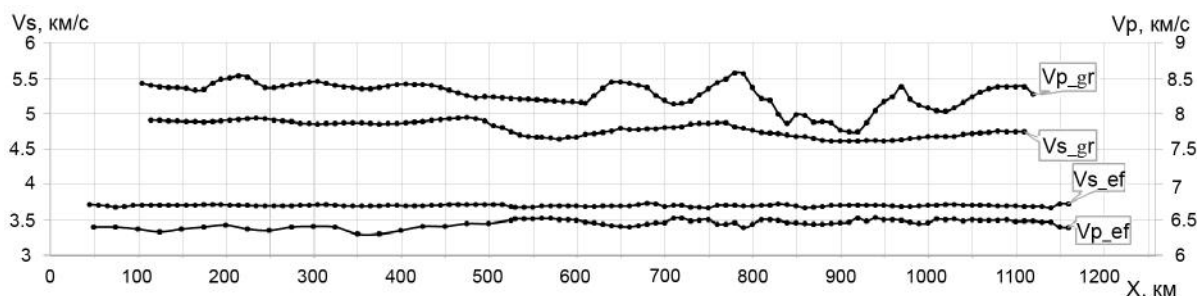


Рис. 3. К определению скорости продольных и поперечных волн в земной коре и мантии на профиле 1-СБ Восточный. Vp_{ef} , Vs_{ef} – результаты определения эффективной скорости продольных и поперечных волн по центрам зондирований (окно 50 км, шаг 10 км); Vp_{gr} , Vs_{gr} – графики граничной скорости продольных и поперечных волн, соответственно.

ды и согласованием с эффективными скоростями во всей толще земной коры.

Особенности глубинного сейсмического строения на профиле 1-СБ Восточный

В сводных результирующих разрезах (рис. 4) поверхность Мохоровичича расположена на глубинах ~40 км в юго-восточной половине профиля и от 40 до 48 км в северо-западной половине профиля. Под крупными хребтами (Южно-Муйским, Северо-Муйским и Делюн-Уранским) мощность земной коры повышена до 45–48 км. Эффективная скорость распространения сейсмических волн до границы М, по данным отраженных продольных и поперечных волн, составляет, соответственно, 6,4–6,5 км/с и 3,65–3,75 км/с.

Граничная скорость продольных волн по поверхности Мохоровичича имеет повышенные значения 8.40 ± 0.15 км/с в юго-восточной половине профиля и в центральной части Баргузино-Витимского массива (в пределах так называемой Муйской глыбы, $X = 745\text{--}805$ км) в северо-западной половине профиля (рис. 4, а). Пониженные значения граничной скорости Р-волн от границы М 7,8–8,0 км/с отмечены в области сочленения Баргузино-Витимского массива и Бодайбинско-Патомской складчатой системы ($X = 825\text{--}945$ км). На других участках установлены нормальные значения граничной скорости продольных волн в 8.1 ± 0.1 км/с (рис. 4, а). В целом, полученное распределение граничной скорости на профиле 1-СБ Восточный коррелирует с площадным распределением граничной скорости по материалам ГСЗ 70–80-ых годов прошлого столетия [6, 7].

Граничная скорость S-волн имеет повышенные значения 4,85–4,95 км/с в юго-восточной части профиля 1-СБ Восточный (рис. 4, б). В северо-западной части граничная скорость S-волн по границе М в целом изменяется от 4,6 км/с до 4,9 км/с. Более высокие значения скорости S-волн (более 4,7 км/с) отмечаются в пределах Баргузино-Витимского массива (в особен-

ности в районе Муйской глыбы) и в северо-западной части Бодайбино-Патомской складчатой системы (рис. 3, рис. 4, б). Пониженные значения граничной скорости S-волн по границе М 4,6 км/с отмечены в области сочленения Баргузино-Витимского массива и Бодайбино-Патомской складчатой системы, Западно-Становой складчатой системы и Баргузино-Витимского массива (рис. 3, рис. 4, б).

Чрезвычайно неоднородной по распределению скоростей Р- и S-волн является верхняя часть земной коры до глубин 10–15 км (рис. 4). По данным продольных волн, на глубинах 5–15 км в пределах профиля выделяется несколько высокоскоростных блоков со скоростью 6,3–6,5 км/с. Зоны повышенных скоростей прослеживаются в северо-западной части Газимурского блока, Пришилкинской зоне, Букачача-Сырыгичинском блоке, Баргузино-Витимском массиве, в области сочленения Баргузино-Витимского массива и Бодайбино-Патомской складчатой системы и в северо-западной части Бодайбино-Патомской складчатой системы. Зоны пониженной скорости Р-волн 6,0–6,1 км/с на глубинах 5–10 км выделяются в центральной части Газимурского блока, в области сочленения Букачача-Сырыгичинского и Жирекенского блоков, в юго-восточной и центральной части Баргузино-Витимского массива и в центральной части Бодайбино-Патомской складчатой системы. Значения пластовой скорости в средней части земной коры составляют $6.4 \div 6.5$ км/с; в нижней части разреза они равны $6.6 \div 6.7$ км/с и $6.7 \div 6.8$ км/с, соответственно, для юго-восточной и северо-западной частей профиля 1-СБ Восточный (рис. 4, а).

По данным S-волн выделяются зоны пониженных значений скорости (~3,4–3,5 км/с) в самой верхней части разреза в юго-восточной части профиля в пределах Заурулунгуйского, Борщовочного и южной части Сырыгичинского тектонических блоков (рис. 4, б). Зоны повышенных значений скорости S-волн (~3,6–3,7 км/с) в верхней коре на глубинах

5–15 км выделяются в пределах Газимурского блока, Пришилкинской зоне, Жирекенском и Букача-Сырыгичинском блоках юго-восточной части профиля. В северо-западной части профиля наиболее высокими значениями скорости поперечных волн в верхней части земной коры – 3.65–3.75 км/с – характеризуются высокогорные участки в пределах Селенга-Станового блока, Баргузино-Витимского массива и Патомского нагорья (рис. 4, б). Пониженные значения скорости S-волн – 3.0–3.3 км/с – в северо-западной части профиля установлены на участках межгорных впадин (Муйско-Кондинская впадина, $X = 740\text{--}790$ км и др.) и на участке Ангаро-Ленской моноклизы. На глубинах 10–15 км скорость поперечных волн в целом по профилю возрастает до 3.65–3.75 км/с. Значения пластовой скорости S-волн в нижней части земной коры по профилю составляет $3.85 \div 3.95$ км/с в юго-восточной части профиля и $3.75 \div 3.85$ км/с – в северо-западной.

По соотношению скоростей P- и S-волн в верхней коре профиля явно выделяются значительные участки пониженных значений отношений V_p/V_s (1.60–1.70) (рис. 5). В самой верхней части земной коры юго-восточной части профиля это участки: $X = 30\text{--}60$ км (Заурулюнгуийский блок), $100\text{--}210$ км (Газимурский блок) и $360\text{--}450$ км (на глубине 10–15 км в пределах Букача-Сырыгичинского блока). В северо-западной половине профиля участки с пониженными значениями отношений V_p/V_s (1.60–1.70) на глубинах 3–25 км на участке $X = 640\text{--}870$ км пространственно совпадают с крупными хребтами: Каларским, Южно- и Северо-Муйским и Делюн-Уранским. Под Каларским и Делюн-Уранским хребтами зоны пониженных отношений V_p/V_s расположены на меньших глубинах, чем под Южно- и Северо-Муйским хребтами. На участках между крупными хребтами в верхней части земной коры выделяются зоны повышенных отношений V_p/V_s 1.75–1.8.

В Бодайбино-Патомской складчатой системе ($X = 930\text{--}1120$ км) зоны пониженных отношений V_p/V_s (1.60–1.70) прослеживаются на небольших глубинах в 3–10 км. На участке $X = 875\text{--}925$ км Бодайбино-Патомская складчатая система отделена от Баргузино-Витимского массива зоной повышенных отношений V_p/V_s (1.75–1.8), прослеживающейся до глубин 25 км.

Аналогично отношению скоростей P- и S-волн (но менее контрастно) установлено распределение значений коэффициента Пуассона.

Особенности скоростного строения верхней мантии территории Прибайкалья и Забайкалья по данным площадных сейсмологических исследований

С использованием данных от землетрясений проводилось площадное изучение граничной ско-

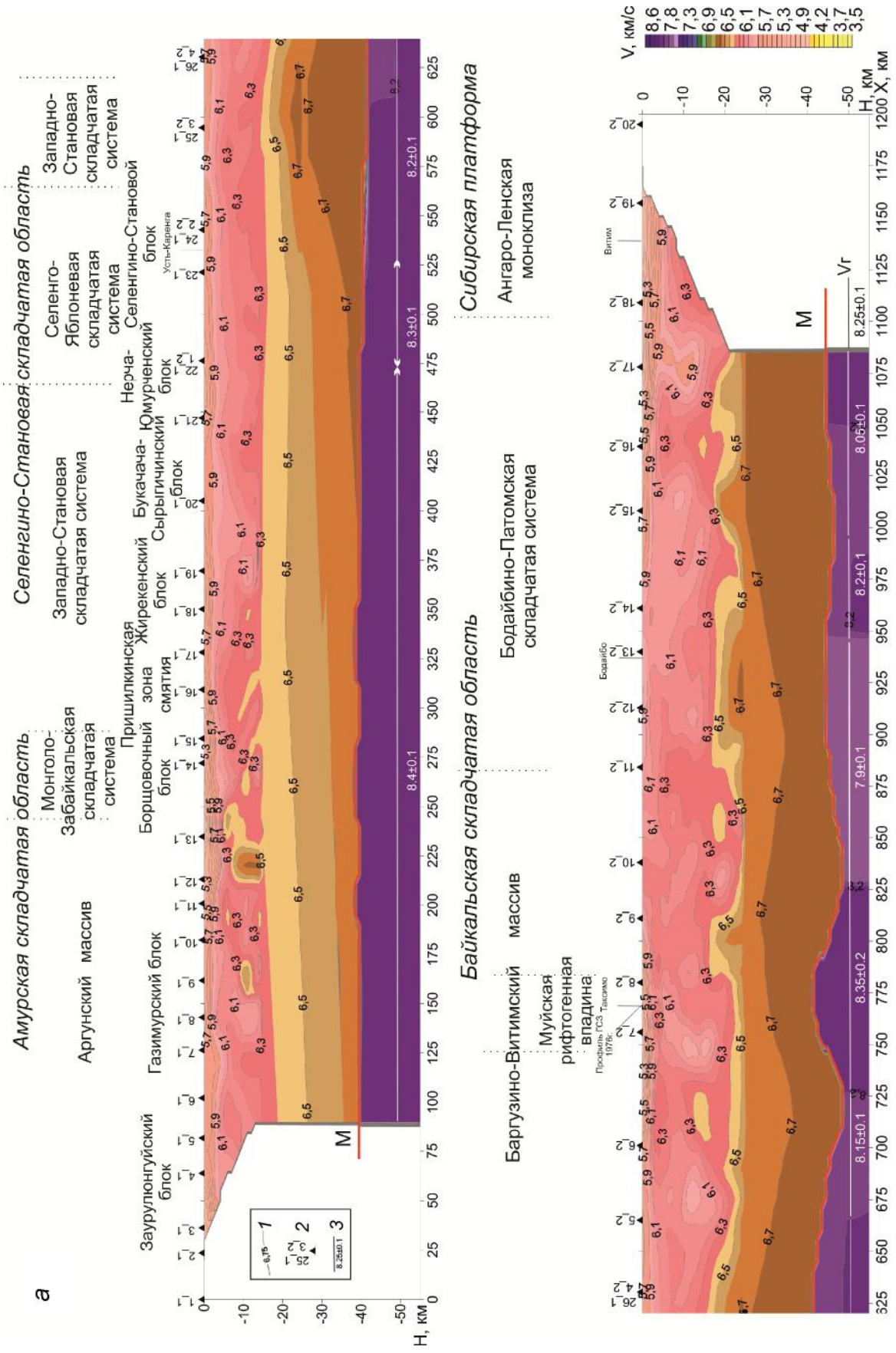
рости по границе Мохоровичича. В обработке было использовано 615 времен пробега P_{np}^M -волны на удалениях от 180 км до 1470 км и 428 времен S-волны на удалениях от 180 км до 1160 км из базы сейсмологических данных Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН за период с 2002 по 2014 год. Эти данные получены на цифровой регистрирующей аппаратуре от достаточно сильных землетрясений с энергетическими классами K от 12.0 до 15.9; для них были определены с высокой точностью эпицентры и с меньшей точностью (в среднем, не хуже, чем ± 5 км) глубины землетрясений. Из анализа материалов ГСЗ прошлых лет [5–7] и данных по профилю 1-СБ [10, 11] следует, что средние глубины до границы M составляют 40 км, а средние скорости в земной коре (V) – 6.4 км/с и 3.7 км/с, соответственно, для P- и S-волн. С использованием этих данных и сведений о глубинах гипоцентров землетрясений, по каждому отрезку (эпицентр землетрясения–сейсмостанция) в рамках простых соотношений определялись значения граничной скорости (V_r) по границе M:

$$V_r = \frac{L}{t - \frac{(2H - h)\cos(i)}{V}} \quad (1)$$

здесь $i = \arcsin(\frac{V}{V_r})$. L , t , H и h – эпицентрально расстояние, время пробега от гипоцентра до сейсмостанции, глубина до границы M и глубина очага землетрясения, соответственно. Покрывающая среда при этом предполагается однородной, а граница – плоской и горизонтальной.

Из анализа всей совокупности распределения кажущейся скорости P_{np}^M -волны (рассматриваемой, в первом приближении, как граничная скорость) для нарастающих интервалов регистрации установлено, что в интервале удалений 180–400 км значения скорости находятся в пределах 7.4–8.4 км/с; на удалениях до 400–600 км они несколько повышены и составляют 7.8–8.4 км/с. На больших интервалах удалений до 800–1200÷1470 км разброс существенно уменьшен и значение скорости при этом составляет 7.9–8.1 км/с. Для S-волн эти значения составляют 4.3–4.85 км/с, 4.45–4.8 км/с и 4.5–4.7 км/с, соответственно. Была выполнена оценка влияния ошибок в глубинах землетрясений на значения кажущейся скорости P_{np}^M -волны для разных удалений. Для единичных вычислений ошибка в определении времен ± 0.5 секунды (за счет средних ошибок в глубине гипоцентра $\sim \pm 5$ км) приведет к ошибкам в значениях скорости $\sim \pm 0.15$ км/с на малых базах (200–400 км) и к менее значительным ошибкам $\sim \pm 0.05$ км/с на больших удалениях в 800–1200 км.

Для определения скорости P- и S-волн по границе Мохоровичича в пределах Байкальской рифтовой



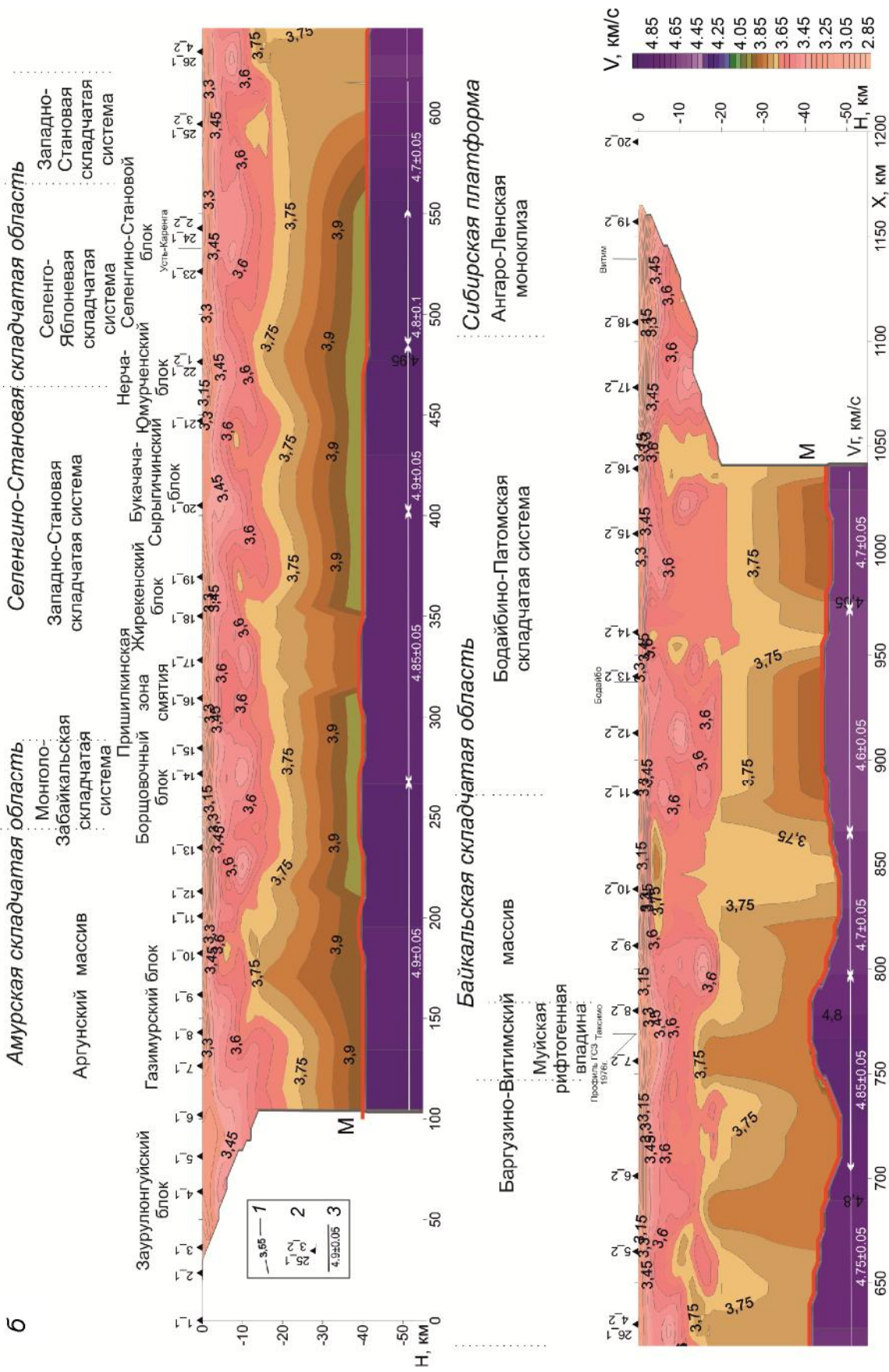


Рис. 4. Глубинные сейсмические разрезы по данным продольных (а) и поперечных (б) волн по профилю 1-СБ Восточный. 1 – изолинии скорости, в км/с, 2 – источники возбуждения (1 – Забайкальский фрагмент, 2 – Байкало-Патомский фрагмент), 3 – значения граничной скорости по границе Мохоровичича, в км/с.

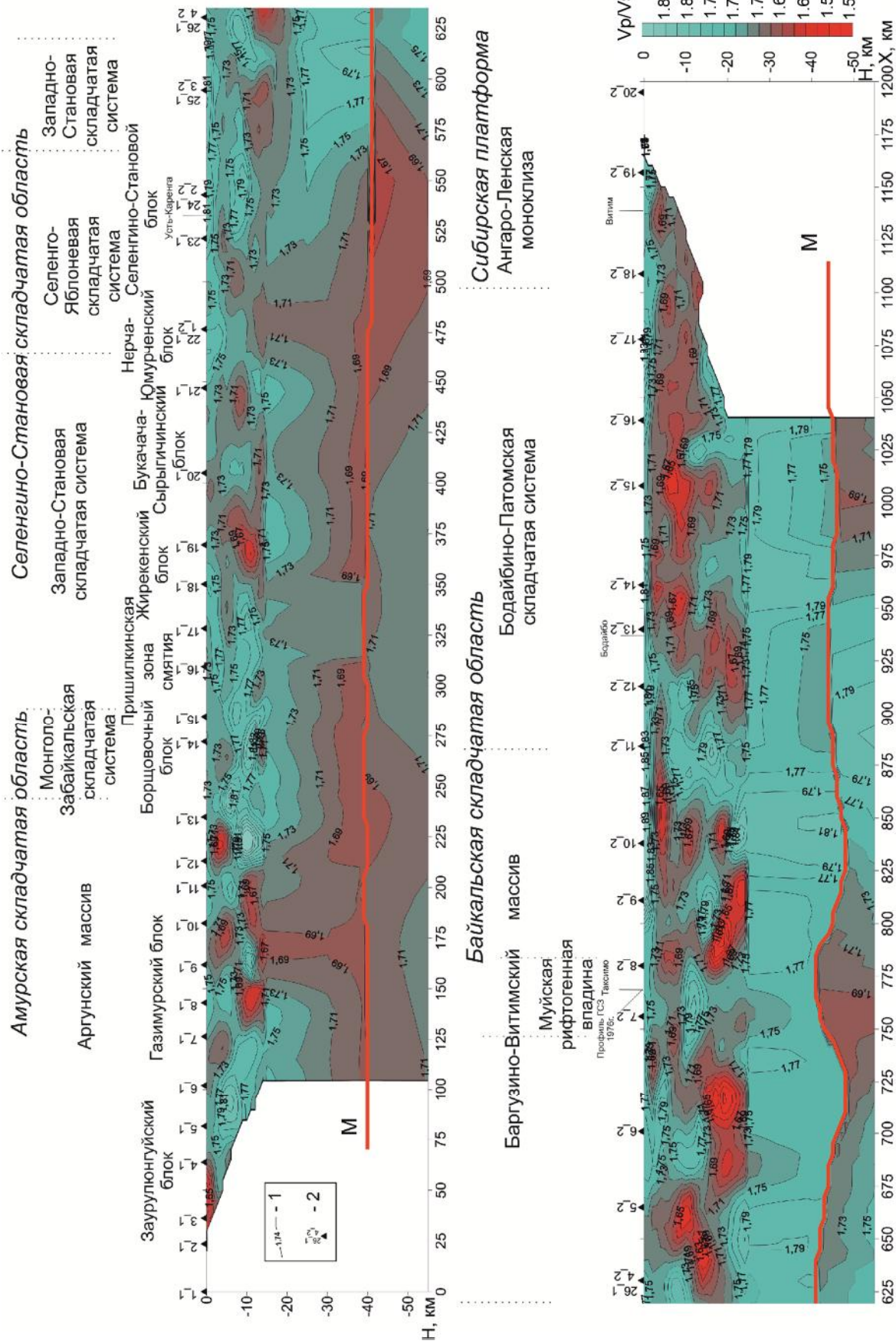


Рис. 5. Распределение огнотенней скоростей Р- и S-волн в земной коре и верхней мантии на профиле 1-СБ Восточный. 1 – изолинии Vp/Vs; 2 – источники возбуждения (1 – Забайкальский фрагмент, 2 – Байкало-Патомский фрагмент).

зоны были сделаны выборки из данных так, чтобы пробег луча от землетрясения к станции по границе М находился в пределах контура БРЗ. Кроме того, с целью учета отмечаемой на ряде профилей ГСЗ смены преломленных Р- и S-волн в БРЗ на удалениях в 300–400 км [5–7], производились выборки значений скорости Р- и S-волн на удалениях до 350 км и более 350 км. Полученные осредненные данные Р- и S-волн представлены в таблице.

Как видно из нее, в целом для Байкальской рифтовой зоны по сейсмологическим данным на удалениях 180–350 км отмечается понижение скорости Р- и S-волн, что подтверждает данные ГСЗ о существовании аномальной мантии в пределах БРЗ [5–7].

Полученные на больших удалениях скорости Р- и S-волн (свыше 350 км в табл.) соответствуют нормальной мантии на больших глубинах. В работе [7] приведены расчеты значений кажущейся скорости S-волн по границе Мохоровичича в БРЗ (из материалов сейсмологических бюллетеней за 1970–1973 гг.) для таких же интервалов, как в таблице. Полученные значения скорости S-волн составили, соответственно, 4.32 ± 0.1 км/с и 4.52 км/с, что коррелирует с результатами в таблице и вместе с ними подтверждает существование пониженной скорости на поверхности Мохо в Байкальской рифтовой зоне (аномальной мантии по Р- и S-волнам).

Полученные выше значения граничной скорости на отрезках лучей в пределах всей площади были также использованы для площадной томографической интерпретации. Первоначально в исходные времена и расстояния вводились специальные поправки за пробег лучей по коре, чтобы полученные таким образом времена относились к участку пробега по границе М. Площадь была разбита на равные квадраты со стороной 200 км. Далее была составлена система уравнений:

$$t_i = \sum_j \frac{a_{ij}}{V_j} \quad (2)$$

где t_i – времена пробега волны вдоль i -го луча по границе М, a_i – длина сегмента i -го луча в j -м блоке разбиения поверхности М, $\sum_j a_{ij}$ – длина i -го луча по границе М, V_j – неизвестная граничная скорость на поверхности мантии в j -м блоке разбиения поверхности. Решение системы уравнений осуществлялось методом наименьших квадратов с регуляризацией

[8]. Значения скорости для референтной модели были взяты из схемы распределения граничной скорости на поверхности мантии, полученной ранее методом ГСЗ на территории БРЗ и разновозрастных складчатых областей Прибайкалья и Забайкалья [5–7], и данных с профиля 1-СБ. Полученное распределение граничной скорости Р- и S-волн представлено на рис. 6.

Несмотря на присутствие модельных погрешностей, результаты опорного профиля 1-СБ и сейсмологии существенно дополнили построенные ранее карты граничной скорости в Прибайкалье и Забайкалье. В юго-восточной части площади в верхней мантии по данным Р- и S-волн выделен высокоскоростной мантийный блок с поперечными размерами около 600×600 км. Скорости Р- и S-волн по границе М в его пределах повышены, соответственно, до 8.4–8.45 км/с и 4.8–4.85 км/с. В пределах Забайкальского фрагмента профиля 1-СБ – это область сочленения Восточно-Забайкальской и Саяно-Байкальской складчатых областей Центрально-Азиатского складчатого пояса, разделенных Монголо-Охотским поясом.

В работе [12] на основе анализа геолого-геофизических и геодинамических сведений по району исследований сделано предположение, что выделенный по данным сейсмологии и ГСЗ высокоскоростной слой в верхней мантии в юго-восточной части Забайкалья является пластиной эклогитов (или эклогитоподобных пород) в районе Монголо-Охотского орогенного пояса. Так, согласно исследованиям [3, 9, 14], формирование позднепалеозойско-раннемезозойского Монголо-Охотского орогенного пояса связывается «с закрытием существовавшего на его месте океанического бассейна и субдукцией океанической коры под смежные континентальные окраины». В зонах субдукции океанической плиты возможно образование глаукофановых сланцев и эклогитов. Последние выступают как химические эквиваленты габбро и базальтов, но превышают их по плотности на 20–25 % [15]. Их плотность (3.3–3.7 г/см³), а значит и скорости Р- и S-волн выше, чем у пород верхней части верхней мантии. Кроме того, сейсмические данные на профиле 1-СБ в данной зоне свидетельствуют о наличии высокоскоростного слабоградиентного слоя, расположенного ниже границы М, мощностью не меньше 5–10 км, что следует из отсутствия значимой рефракции по годографам преломленных волн от границы Мохоровичича (P_{np}^M) и их динамической выразительности [12].

Таблица.

V (P, S)	Интервал осредн., км	Количество землетрясений	V, км/с	Стандарт. отклон., км/с
Vp	180–350	138	7.89	0.14
Vs	180–350	81	4.47	0.09
Vp	350–1150	258	8.00	0.07
Vs	350–1100	185	4.60	0.06

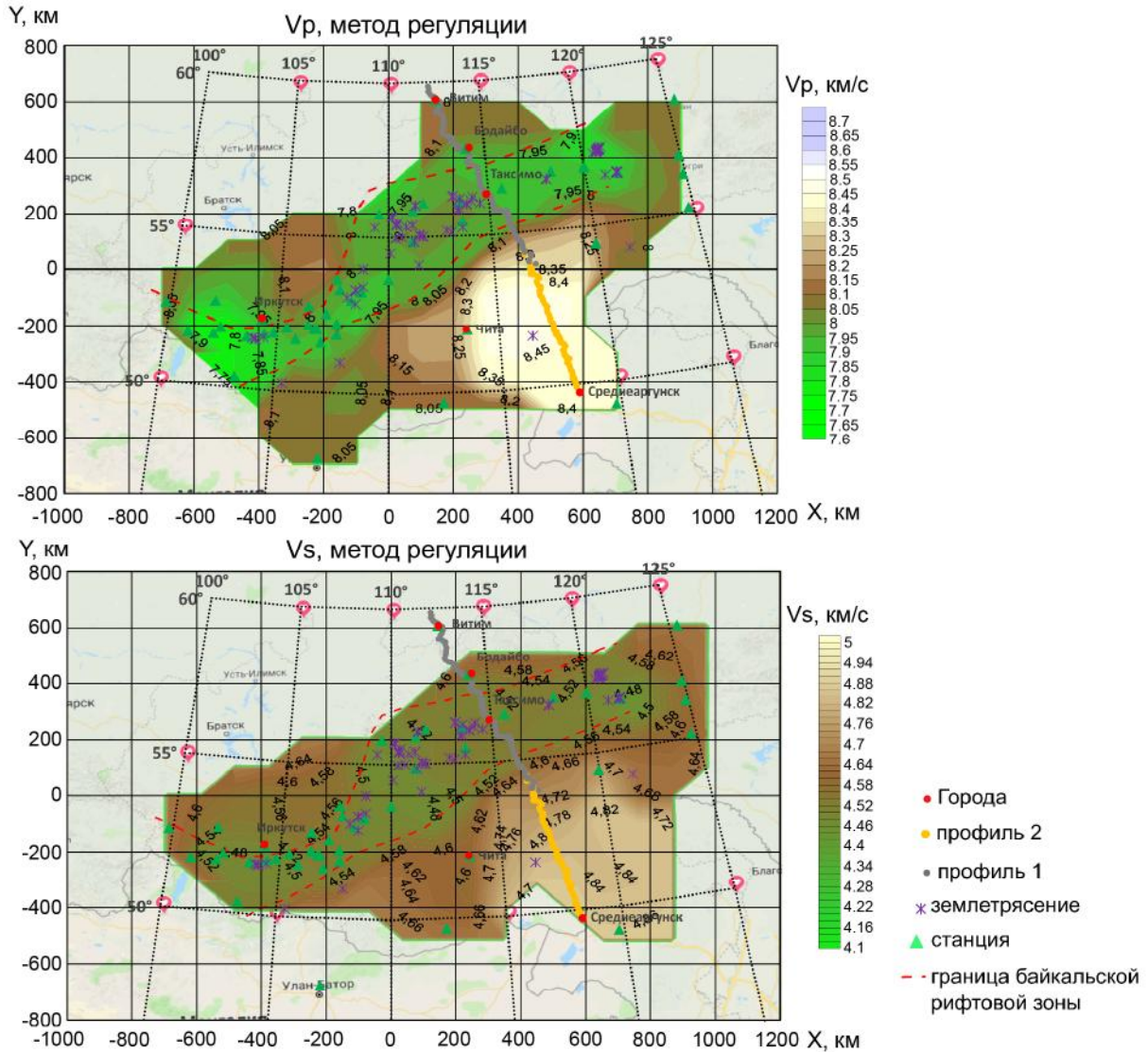


Рис. 6. Схема распределения граничной скорости P- и S- волн по границе Мохоровичича на территории Прибайкалья и Забайкалья.

В северо-западной и северо-восточной частях площади исследований (в пределах Байкальской рифтовой зоны) граничная скорость P- и S-волн имеет пониженные значения в 7.80–7.95 км/с и 4.5 ± 0.05 км/с, соответственно. Эти результаты площадных сейсмологических исследований коррелируют с данными профиля 1-СБ и материалами профильных исследований методом ГСЗ 70–80-ых годов прошлого столетия [5–7]. Они не подтверждают результаты сейсмических исследований в районе оз. Байкал, полученные исследователями [1, 17, 18], в которых утверждается отсутствие аномальной (низкоскоростной) мантии в Байкальской рифтовой зоне. Пониженные скорости P- и S-волн являются одним из главных параметров в гипотезе о частично расплавленной мантии

в Байкальсклй рифтовой зоне [7]. Исследователями [7] привлекались также данные о плотности и электросопротивлении. Данные профиля 1-СБ дают еще один параметр, который также может подтвердить или опровергнуть одну из альтернативных гипотез о природе аномального слоя – частично расплавленной мантии или коро-мантийной смеси. Последняя, представляющая переходную зону, может приближенно рассматриваться как двухкомпонентная смесь хаотически ориентированных частиц. Для такой среды регистрируемые отраженные волны на близвертикальных лучах должны рассыпаться (не иметь протяженных осей синфазности), а на временном разрезе вместо узкой пачки отражателей на временах 12–14 секунд для участка БРЗ в пределах профиля 1-СБ от-

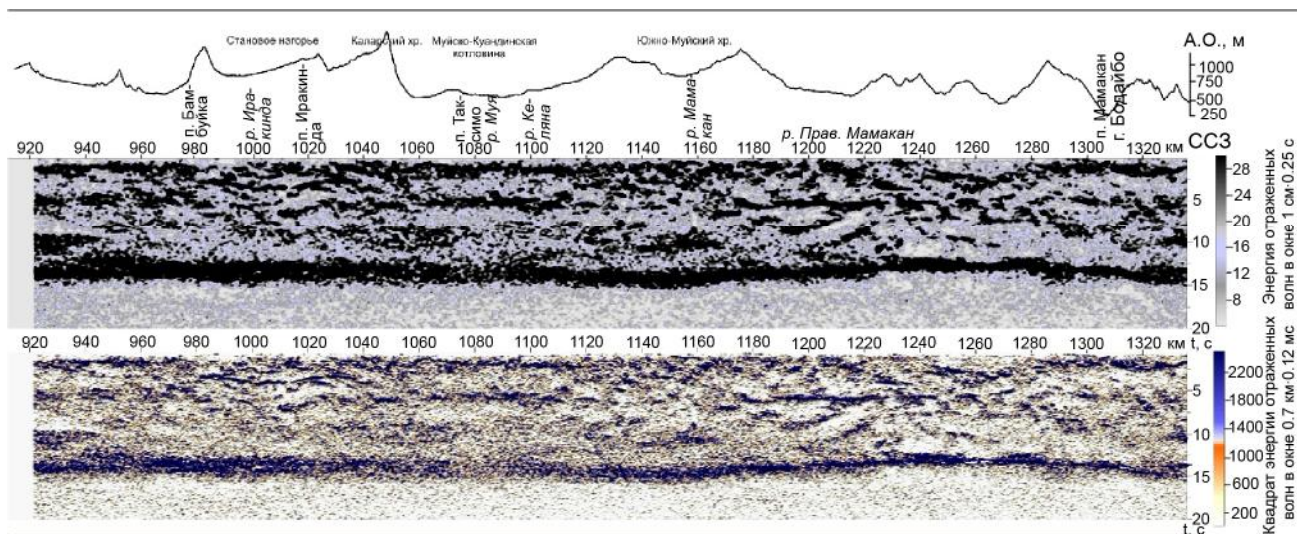


Рис. 7. Фрагмент временного (энергетического) разреза методом ОГТ (общей глубинной точки) по северному (Байкало-Патомскому) фрагменту профиля 1-СБ Восточный, по [2].

Аномальная низкоскоростная мантия по данным продольных волн отменяется на участке $X = 825\text{--}950$ км по ГСЗ (рис. 4, а), что соответствует участку $X = 1150\text{--}1320$ км по разрезу ОГТ.

мечаться широкая размытая зона. Представленные на рисунке 7 материалы ОГТ на профиле 1-СБ в пределах зоны пониженной скорости Р- и S-волн [2], напротив, показывают узкую зону отражателей на вышеуказанных временах 12–14 секунд, соответствующую по результатам ГСЗ границе Мохоровичича по данным закритических отраженных и преломленных волн (рис. 4). Частичное плавление практически не меняет свойства границы Мохоровичича, которая остается резкой границей, в то время как для коро-мантийного слоя она рассыпается. Таким образом, материалы профиля 1-СБ, совместно с сейсмологическими данными, подтверждают обоснованность гипотезы частичного плавления аномального слоя в пределах Байкальской рифтовой зоны, высказанную исследователями в [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определены особенности глубинного сейсмического строения Забайкалья по данным разнополяризованных Р- и S-волн на опорном 1200-километровом геофизическом профиле 1-СБ Восточный. Установлено значительное изменение мощности земной коры вдоль профиля от 40 до 48 км, сильное изменение граничной скорости продольных волн по границе М (7.9–8.5 км/с) и менее сильное – поперечных волн (4.6–4.9 км/с). По всей толще земной коры скорости Р- и S- волн составляют, соответственно, 6.4–6.5 км/с и 3.65–3.75 км/с.

Установлено неоднородное строение верхней части земной коры до глубин 15–20 км по скоростям Р- и S- волн, их соотношению и коэффициенту Пуассона.

С использованием данных по региональным землетрясениям и данных ГСЗ на опорном геофизическом профиле 1-СБ построены карты площадного распределения граничной скорости продольных и поперечных волн по границе Мохоровичича территории Прибайкалья и Забайкалья. В построенных картах выделена зона пониженной скорости как Р-, так и S-волн на поверхности мантии в пределах Байкальской рифтовой зоны (так называемая аномальная мантия), что подтверждает гипотезу о частичном плавлении в верхней мантии на участке БРЗ. В юго-восточной части площади на поверхности мантии выделена высокоскоростная зона по данным Р- и S-волн; высказано предположение о ее природе как пластины эклогитоподобных пород в зоне Монголо-Охотского орогенного пояса.

Полученная новая дополнительная информация о глубинном строении слабо изученной территории Прибайкалья и Забайкалья чрезвычайно полезна для обоснования современной глубинной геофизической модели земной коры и верхней мантии региона, прогноза металлогении и сейсмичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винник Л.П., Орешин С.И., Цыдыпова Л. Р., Мордвинова В.В., Кобелев М.М., Хритова М.А., Тубанов Ц.А. Кора и мантия Байкальской рифтовой зоны по данным приемных функций продольных и поперечных волн // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017. V. 8, N 4. P. 695–709. doi:10.5800/GT-2017-8-4-0313.
2. Гошко Е.Ю., Жабин В.В., Сальников А.С. Строение земной коры в зоне сочленения Алдано-Станового щита и Саяно-Байкальской складчатой области вдоль опорного

- профиля 1-СБ // Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России: Материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. Якутск: Изд-во дом Ин-та мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2018. 2. С. 52–55.
3. Диденко А.Н., Ефимов А.С., Нелюбов П.А., Сальников А.С., Старосельцев В.С., Шевченко Б.Ф., Горошко М.В., Гурьянов В.А., Заможная Н.Г. Структура и эволюция земной коры области сочленения Центрально-Азиатского пояса и Сибирской платформы: профиль Сковородино-Томмот // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 10. С. 1583–1599.
 4. Кашубин С.Н., Петров О.В., Мильштейн Е.Д., Кудрявцев И.В., Андросов Е.А., Винокуров И.Ю., Тарасова О.А., Эринчек Ю.М. Глубинное строение земной коры и верхней мантии Северо-Восточной Евразии // Региональная геология и металлогения. 2018. № 76. С. 9–21.
 5. Крылов С.В., Мандельбаум М.М., Селезнев В.С., Соловьев В.М., Елинов В.Д. Детальные глубинные сейсмические исследования в Верхнеангарском районе Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. 1990. Т. 31, № 7. С. 17–27.
 6. Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Петрик Г.В., Шелудько И.Ф., Мандельбаум М.М., Селезнев В.С., Соловьев В.М. Изучение земной коры и верхней мантии в Байкальской рифтовой зоне методом глубинного сейсмического зондирования // Физика Земли. 1999. № 7–8. С. 74–93.
 7. Недра Байкала (по сейсмическим данным) / Ред. Н.Н. Пузырев. Новосибирск: Наука, 1981. 105 с.
 8. Нолет Г. Сейсмическая томография. С приложениями в глобальной сейсмологии и разведочной геофизике. М.: Мир, 1990. 416 с.
 9. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С. И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртоого О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 1–41.
 10. Соловьев В.М., Сальников А.С., Селезнев В.С., Елагин С.А., Романенко И.Е., Галева Н.А. Глубинные сейсмические исследования на Байкало-Патомском фрагменте Восточного участка опорного профиля 1-СБ // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 3. С. 106–112.
 11. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Сальников А.С., Лисейкин А.В., Романенко И.Е., Елагин С.А., Шенмайер А.Е., Сержников Н.А. Глубинное строение Забайкальского участка Центрально-Азиатского складчатого пояса по данным ГСЗ (в створе опорного профиля 1-СБ) // Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2017. Т. 4, № 4. С. 91–103.
 12. Соловьев В.М., Чечельницкий В.В., Сальников А.С., Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Галева Н.А. Особенности скоростного строения верхней мантии Забайкалья на участке Монголо-Охотского орогенного пояса // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8, № 4. С. 1065–1082. doi:10.5800/GT-2017-8-4-0333.
 13. Солоненко В.П. Сейсмоструктура и современное структурное развитие Байкальской рифтовой зоны // Байкальский рифт. М.: Наука, 1968. С. 57–71.
 14. Шевченко Б.Ф., Горошко М.В., Диденко А.Н., Гурьянов В.А., Старосельцев В.С., Сальникова А.С. Глубинное строение, мезозойская тектоника и геодинамика области сочленения восточной части Центрально-Азиатского пояса и Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 12. С. 2122–2131.
 15. Эклогиты и глаукофановые сланцы в складчатых областях / Н.Л. Добрецов, Н.В. Соболев, В.С. Шацкий и др. Новосибирск: Наука, СО, 1989. 236 с.
 16. Эринчек Ю.М., Липилин А.В., Сержантов Р.Б., Кашубин С.Н., Мильштейн Е.Д. Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин: Сб. докл. междунар. науч. конф., посвященной 100-летию акад. Н.Н. Пузырева. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. С. 282–288.
 17. Ten Brink U.S., Taylor M.H. Crustal structure of central Lake Baikal: insights into intracontinental rifting // J. Geophys. Res. 2002. V. 107, N B.7, 10.1029/2001JB000300.
 18. Nielsen C., Thybo H. Lower crustal intrusions beneath the southern Baikal Rift Zone: Evidence from full-waveform modelling of wide-angle seismic data // Tectonophysics. 2009. V. 470. P. 298–318.

Рекомендована к печати А.Н. Диденко

после доработки 25.10.2019 г.

принята к печати 19.05.2020 г.

V.M. Solovyev, A.S. Salnikov, V.S. Seleznev, V.V. Chechelnitsky, A.V. Liseikin, N.A. Galeva

Features of the deep velocity structure of the Trans-Baikal section of the Central Asian folded belt from seismology and GPS data (in the alignment of the reference profile 1-SB)

The materials of deep seismic studies on the reference geophysical profile 1-SB and areal interpretation of seismological data in the Trans-Baikal part of the Central Asian folded belt are presented. It is shown that longitudinal and transverse waves from the reference boundaries in the Earth's crust and Moho surface were registered using explosions and powerful vibration sources on the 1200-km geophysical profile 1-SB in Trans-Baikal region. The inhomogeneous velocity structure (according to P- and S-waves) of the upper part of the Earth's crust to the depths of 15–20 km and Moho surface was established.

The anomalous mantle with reduced values of the boundary velocity of P- and S-waves (7.8–7.95 km/s and 4.3–4.5 km/s, respectively) was reliably traced within the Baikal rift zone using GSS and seismology data. In the southeastern part of the area (in the central Mongol-Okhotsk orogenic belt and adjacent folded structures of the Trans-Baikal region), a layer of increased P- and S-wave velocity values on was detected the mantle surface at 8.4 ± 0.15 km/s and 4.9 ± 0.05 km/s, respectively. A comparison was made with the materials of other studies.

Key words: GPS profile, P- and S-wave velocities and velocity ratios, deep seismic section, Earth's crust, Moho, seismological data, Central Asian fold belt, Transbaikalia.